

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-16892

(43) 公開日 平成11年(1999) 1月22日

(51) Int. Cl.<sup>1</sup>

識別記号

F 1

H 0 1 L 21/3065

H 0 1 L 21/302

A

21/205

21/205

H 0 5 H 1/46

H 0 5 H 1/46

B

審査請求 有 請求項の数 4 O L (全 5 頁)

(21) 出願番号 特願平9-167523

(22) 出願日 平成 9 年 (1997) 6 月 24 日

(71) 出願人 000004237

日本電気株式会社

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号

(72) 発明者 大竹 浩人

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

(72) 発明者 森川 誠二

東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 日本電気株式会社内

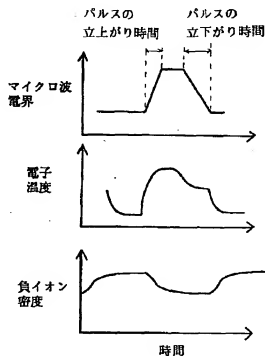
(74) 代理人 弁理士 若林 忠

(54) 【発明の名称】 プラズマ処理方法

(57) 【要約】

【課題】 基板表面への電荷蓄積によるデバイスへのダメージを抑制し、かつ高速、高選択、異方性エッチングを実現するプラズマ処理方法を提供する。

【解決手段】 高周波電界を  $10 \sim 100 \mu\text{sec}$  の範囲でパルス変動するとともに、パルスの立ち上がり時間を  $2 \mu\text{sec}$  以上  $50 \mu\text{sec}$  以下、パルスの立下がり時間を  $10 \mu\text{sec}$  以上  $100 \mu\text{sec}$  以下とする。これにより、プラズマ中の電子温度を  $2 \text{ eV}$  以下、プラズマ中の負イオン密度の変動を  $20\%$  以下とする。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 プラズマ生成室内で高周波電界を利用して処理ガスをプラズマ化し、該プラズマを基板に照射して基板処理を行うプラズマ処理方法において、前記高周波電界を10～100μsecの範囲でパルス変調するとともに、前記プラズマ中の電子温度を2eV以下とし、前記プラズマ中の負イオン密度の変動を20%以下とすることを特徴とするプラズマ処理方法。

【請求項2】 パルスの立上がり時間を2μsec以上50μsec以下とすることを特徴とする請求項1記載のプラズマ処理方法。

【請求項3】 パルスの立下がり時間を10μsec以上100μsec以下とすることを特徴とする請求項1または2に記載のプラズマ処理方法。

【請求項4】 パルス変調した高周波電界を用いてプラズマ生成室内で処理ガスをプラズマ化し、該プラズマを基板に照射して基板処理を行うプラズマ処理装置において、磁場をかける手段と、前記プラズマ生成室内にRF電界を印加するRF電源と、前記高周波電界を10～100μsecの範囲でパルス変調するとともにパルスの立上がり時間およびパルスの立下がり時間を調整するパルス回路とを有することを特徴とするプラズマ処理装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は表面処理に関し、特にパルス変調された高周波電界を利用して生成したプラズマを用いて基板表面の処理を行うプラズマ処理方法およびプラズマ処理装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】従来のマイクロ波プラズマエッチング装置は、例えば特開昭56-155535号公報に示されているように図1のような構造を有する。この装置は気密構造の真空容器21中にマイクロ波発生装置1から導波管3を通して2.45GHz程度のマイクロ波を導入し、マイクロ波と永久磁石またはコイル5による磁場による電子サイクロトロン共振放電プラズマ6中にエッチング試料14をセットし、該試料に数百kHzから数十MHzの基板バイアス13を印加してエッチング処理を行うものである。

【0003】上記装置は連続放電で使用されるものであるが、連続放電プラズマによる基板表面処理においては以下のようない問題があった。すなわち、図2に示すように負電荷である電子と正電荷である正イオンの速度差があるために基板表面に負の電荷蓄積が生じ、基板にダメージを与える等の問題があった。この電荷蓄積を抑制することを目的として、例えば特開平05-334488号公報には、パルス変調プラズマによる基板表面処理が提案されている。

【0004】パルス変調プラズマによる基板表面処理に

おいては、図3に示すように高周波電界を0から100μsecの範囲でパルス変調することにより高周波電界OFF時の電子温度を減らし、基板表面へ蓄積する電荷を減らすことができる。また塩素、四フッ化炭素、六フッ化硫黄、シュウ酸などのハロゲン系プラズマもしくは酸素プラズマ中ではパルス放電にすることによって負イオンが発生し、正負イオンによるエッチングが可能であることから、高速度エッチングが期待できる。

【0005】さらに低電子温度でプラズマ中に発生する負イオンを正イオンとともに600kHz以下の低周波バイアスで基板に入射させることで基板表面に蓄積する電荷をほぼ完全に無くすることが可能である。図4は塩素ECRプラズマにおける蓄積電荷のパルスOFF時間依存性を示す。OFF時間が50μsec以上の負イオンの発生が多い条件では、蓄積電荷を抑制することができる。このことから電子温度、電子密度が低く、プラズマが正負両イオンで構成されている場合に低周波のRFバイアスを印加すると基板には正負イオンが交互に入射し、基板表面の蓄積電荷を抑制できる。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかし、上述した従来の技術においてはプラズマ中の電子温度がパルス点火時に急上昇し、電子の温度を定常的に十分下げることが難しく、基板表面への電荷蓄積が完全に除去できないという点でなお改善の余地があった。また、高周波印加時に、塩素、四フッ化炭素、六フッ化硫黄、シュウ酸などのハロゲン系プラズマもしくは酸素プラズマ中の負イオンが減少するため、パルス印加時の電荷蓄積が起こりやすいという点で、なお解決すべき課題を有していた。

【0007】図5は塩素プラズマにおけるパルス印加時の電子温度の時間変位を示す。マイクロ波パワー50W、RFパワー0kW、塩素圧2mTorrの条件で負イオンはパワーON後10μsec程度でオーバーシュートし4eV程度まで上昇する。これは電子サイクロトロン共振による高エネルギー電子の流束による。このことから矩形のパルスではパルス印加時から10μsec程度にかけて電子温度の周期的な急上昇が見られることがわかる。

【0008】図3は塩素プラズマに600kHzのRFバイアスを基板に印加した場合のSiエッチング速度のパルス印加時間依存性を示す。放電停止時間が同じであってもパルス幅が30μsec以上ではパルス印加時間が大きくなるにしたがいエッチング速度が減少する。これは、パルス印加時に電子温度の上昇に伴い負イオンの密度が減少することによる。またパルス幅が10μsecではエッチング速度がさがっている。これは、デュティ比が低いためにプラズマ密度のものが減少したことによる。このことから、ON時間は短いほど負イオンの発生は大きい、非常に短くして減少してしまうことがわかる。

【0009】本発明はこのような従来技術の問題点を解決するためになされたものであり、パルス変調プラズマにおいてパルスの立上がり傾斜を持たせることにより電子温度のオーバーシュートを抑制し、電子温度を定常的に下げ、かつパルスの立下がり傾斜を持たせることにより負イオンの減少を抑制することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決する本発明のプラズマ処理方法は、プラズマ生成室内で高周波電界を利用して処理ガスをプラズマ化し、該プラズマを基板に照射してプラズマ処理方法において、前記高周波電界を10～100 $\mu$ secの範囲でパルス変調するとともに、前記プラズマ中の電子温度を2eV以下とし、前記プラズマ中の負イオン密度の変動を20%以下とすることを特徴とする。

【0011】また、本発明のプラズマ処理装置は、パルス変調した高周波電界を用いてプラズマ生成室内で処理ガスをプラズマ化し、該プラズマを基板に照射して基板処理を行うプラズマ処理装置において、磁場をかける手段と、前記プラズマ生成室内にRF電界を加えるRF電源と、前記高周波電界を10～100 $\mu$ secの範囲でパルス変調するとともにパルスの立下がり時間およびパルスの立下がり時間を調整する手段とを有することを特徴とする。

【0012】本発明ではパルスの立下がり傾斜を持たせることで、電子温度のオーバーシュートを抑制し、プラズマ中の負イオン量を増やし、電荷蓄積を減らすことができる。これは、パルス印加時に大きなパワーがプラズマに印加されず、高エネルギー電子の生成が抑制されることによる。1eV以下のエネルギーを持った電子の量が多くなると、負イオンがアフターグロー中で効率よく生成されるため、負イオンの量も増加する。このことから、本発明により、低電子温度、低電子密度で正負イオンのみのプラズマが定常的に生成されるため、電荷蓄積を低減できる。

【0013】またパルスON時間における負イオン密度の減少を抑制するため、パルスの立下がり傾斜を設ける。これはパルスON時間中に負イオンが減少するためON時間は短い方がよいが、非常に短いとプラズマの維持が難しくなるため、時間平均の投入パワーを多くしつつ、ON時間の長さを短くすることで、負イオンの密度をさらに上げることができることによる。

【0014】このようにして本発明により、表面での電荷蓄積によるデバイスへのダメージを抑制できるとともに、高速かつ異方性エッチングを両立して行うことができる。

【0015】

【発明の実施の形態】本発明のプラズマ処理方法において、高周波電界は、10～100 $\mu$ secの範囲でパルス変調される。このようにすることによって、高周波電

界OFF時の電子温度を下げることも正イオンと負イオンによる高速エッチングが可能となる。

【0016】本発明のプラズマ処理方法において、プラズマ処理中のプラズマの電子温度は2eV以下とする。2eVを越え、基板表面の蓄積電荷により基板がダメージを受ける等の問題が生じる場合があるからである。また、プラズマ処理中のプラズマの電子温度は0.5eV以上とすることが好ましい。0.5eV未満では放電が維持できなくなる場合があるからである。

【0017】電子温度を2eV以下とするためには、パルス回路により、図7のように所定のパルスの立下がり時間を設け、パルスの立下がり傾斜をつけるという方法が有効である。これにより、図8のように電子温度のオーバーシュートを抑えることができ、電子温度を2eV以下とすることが可能となる。

【0018】ここで、パルスの立下がり時間とは、図9に示すように、高周波電界をONにするために要する時間をいう。パルスの立下がり時間は、2 $\mu$ sec以上50 $\mu$ sec以下、好ましくは、5 $\mu$ sec以上20 $\mu$ sec以下とする。2 $\mu$ sec未満では、電子温度のオーバーシュートを抑えることが困難である。また50 $\mu$ secを越え、全体のプラズマ密度が低下するため、エッチング速度が低下してしまう等の問題が生じる場合がある。

【0019】また、本発明のプラズマ処理方法において、プラズマ処理中のプラズマの負イオンの密度の変動が20%以下とする。20%を越え、基板表面の蓄積電荷により基板がダメージを受ける等の問題が生じる場合がある。

【0020】負イオンの密度の変動を20%以下に保つためには、パルス回路により、図8のように所定のパルスの立下がり時間を設け、パルスの立下がり傾斜をつけるという方法が有効である。ON時間が短くなることで負イオンの減少は抑制され、入力されるパワーを下げないことでプラズマ密度の減少を抑えることができる。ここで、パルスの立下がり時間とは、図9に示すように、高周波電界をOFFにするために要する時間をいう。パルスの立下がり時間は、10 $\mu$ sec以上100 $\mu$ sec以下、好ましくは、20 $\mu$ sec以上50 $\mu$ sec以下とする。10 $\mu$ sec未満では、ON時間が長くなるため負イオン密度の減少が大きくなる。また、100 $\mu$ secを越え、全体のプラズマ密度が低下するため、エッチング速度が低下してしまう等の問題が生じる場合がある。

【0021】

【実施例】以下、実施例により本発明の内容を説明する。図1は本実施例で用いたプラズマ処理装置の概略図である。本装置はマイクロ波電界とコイルや永久磁石によりプラズマを生成するプラズマ生成室と基板搬送室とが互いに隣接するように構成されている。このプラズマ

生成室にはプラズマを生成するためのガスを導入するガス系が接続されており、2.45GHz程度のマイクロ波導波管が接地されている。使用するガスはパワーOFF時に負イオンの発生が多くなる種を利用する。例として、塩素、四フッ化炭素、六フッ化硫黄、シュウ酸などのハロゲン系プラズマもしくは酸素等が挙げられる。

【0022】この装置は、マイクロ波電源からの導入マイクロ波をパルス変調するためのパルス回路4を有している。例えば、立上がり時間は10 $\mu$ sec、立下がり時間は30 $\mu$ secとし、図9のようなパルス形状とする。このようにパルスの立上がりと立下がりを適宜組み合わせることによって、図9に示すように電子温度を2eV以下に保ち、負イオン密度の変動も20%以下に抑えることができる。

【0023】なお、本発明のプラズマ処理方法は、放電周波数及び放電の形式に依存することなく適用できる。

【0024】

【発明の効果】以上説明したように、本発明のプラズマ処理方法によれば、プラズマ中の電子温度を2eV以下とし、負イオン密度の変動を20%以下とするため、電荷蓄積のない高速、高選択、異方性エッチングが実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のプラズマ処理装置の概略図である。

【図2】従来のプラズマ処理方法において、基板表面に負電荷が蓄積することを説明するための図である。

【図3】従来のプラズマ処理方法における高周波電界のパルス形状と電子温度および負イオン密度の変化の関係

を示す図である。

【図4】パルスOFF時間と蓄積電荷の関係を示す図である。

【図5】高周波電界印可後の電子温度の変化を示す図である。

【図6】パルスOFF時間とシリコンエッチング速度の関係を示す図である。

【図7】本発明のプラズマ処理方法における高周波電界のパルス形状と電子温度および負イオン密度の変化の関係を示す図である。

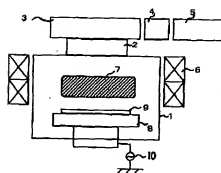
【図8】本発明のプラズマ処理方法における高周波電界のパルス形状と電子温度および負イオン密度の変化の関係を示す図である。

【図9】本発明のプラズマ処理方法における高周波電界のパルス形状と電子温度および負イオン密度の変化の関係を示す図である。

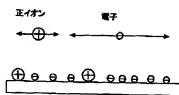
【符号の説明】

- 1 プラズマチャンバ
- 2 導波管
- 3 マイクロ波電源
- 4 パルス回路
- 5 ファンクションジェネレータ
- 6 コイル
- 7 プラズマ
- 8 基板電極
- 9 基板
- 10 RF電源

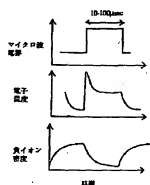
【図1】



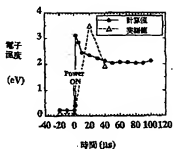
【図2】



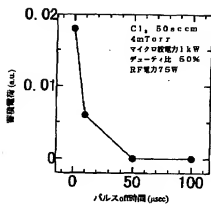
【図3】



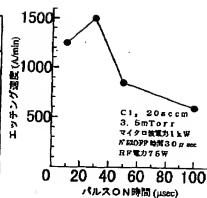
【図5】



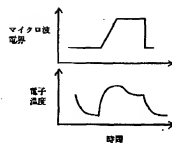
【図4】



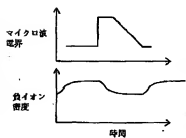
【図6】



【図7】



【図8】



【図9】

